VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

дуктор, образует жидкий металл в каналах. Поэтому необходимо, чтобы в них всегда оставалось некоторое количество металла, поддерживаемого в расплавленном состоянии, для чего печь должна быть постоянно подключена к питающей сети. Следовательно, канальные печи предназначены для непрерывной работы с редкими переходами с одной марки металла на другую.

В своем большинстве канальные печи выполняются однофазными с одной или несколькими индукционными единицами. Отдельные конструкции имеют трехфазное исполнение.

Канальные печи в основном применяют для плавки алюминия и его сплавов, а также меди и некоторых ее сплавов. Емкость печей от 0,4 до 16 т (печи серий ИАК и ИЛК). Другие серии печей специализированы как миксеры для выдержки и перегрева жидкого чугуна, цветных металлов и сплавов перед разливкой в литейные формы (например, серии ИЧКМ, ИЛКМ и др.).

Устройство индукционных *тигельных печей* (печей без сердечника) показано на рис. 1-24, *б* и *в*. Внутри индуктора *8* помещен огнеупорный набивной тигель *3*, в котором находится расплавляемый металл *1*. В печах промышленной частоты и в некоторых крупных печах средней частоты устанавливается внешний магнитопровод *6*, который экранирует стальной кожух печи (не показанный на рисунках) от полей рассеяния индуктора. Кожух небольших печей (до 1 т) средней частоты изготовляют из немагнитной стали, дерева, асбоцемента. Сверху печь закрывается футерованной крышкой.

Нагрев и расплавление садки происходят за счет вихревых токов, наводимых в ней при подключении индуктора к источнику питания. Плотность тока в садке неравномерна. Наименьшая плотность тока получается в центральной части тигля, наибольшая — в слое, прилегающем к стенкам.

Индуктор тигельной печи представляет собой многовитковую водоохлаждаемую катушку из медной трубки круглого, овального или прямоугольного сечения. Токопровод к индуктору выполняется гибким водоохлаждаемым кабелем или шинопроводами из медных или алюминиевых полос и разъемным соединением.

Механизмы наклона печи и подъема крышки снабжаются гидро- или электроприводом. Загрузка печей

производится вручную (малые печи) либо при помощи подвесной электротележки, мостового крана и т. п.

Тигельные печи используют преимущественно для плавки металлов на фасонное литье при периодическом режиме работы, а также вне зависимости от режима работы — для плавки некоторых сплавов, например бронз, которые пагубно влияют на футеровку канальных печей.

На частоте 50 Гц работают печи емкостью от 0,4—1,0 до 10 т (например, печи серий ИЧТ, ИЛТ, ИАТ). Печи серий ИСТ емкостью от 0,06 до 10 т имеют рабочие частоты в пределах 500—2575 Гц, серии ИАТ (на 0,4 и 2,5 т) — частоту 500 Гц.

Электрооборудование индукционных плавильных установок. В индукционную плавильную установку входят электропечь с ее механизмами и приводами и комплектующее электрооборудование: печной трансформатор или преобразовательный агрегат; вводное или распределительное устройство на стороне ВН трансформатора (при первичном напряжении выше 1000 В); конденсаторные батареи; шкафы, щиты и станции управления; токопроводы короткой сети. Комплектация оборудования тигельных печей возможна в нескольких вариантах: одна или две печи и один комплект электрооборудования; три печи и два комплекта электрооборудования.

Питание индукционных печей частоты 50 Гц при мощности печного трансформатора менее 400 кВ·А производится от сети 380 В, при больших мощностях — от сети 6 или 10 кВ. Поскольку естественный коэффициент мощности таких печей весьма низок (у некоторых типов тигельных печей не выше 0,1—0,3), обязательно применяют устройства его компенсации (батарею конденсаторов, включаемую параллельно индуктору). Максимальные значения напряжения индукторов лежат в пределах от 500 до 2000 В у тигельных и от 40 до 600 В у канальных печей.

Печные трансформаторы. В индукционных установках частоты 50 Гц в качестве печных используются главным образом специально предназначенные для этой цели одно- и трехфазные силовые масляные трансформаторы типов ЭОМП, ЭОМН, ЭТМП и другие (буква О — однофазный; расшифровка остальных букв та же, что и для трансформаторов дуговых печей — см. § 1-3). Они имеют ступенчатое регулирование напряжения с

устройством дистанционного управления переключением ответвлений обмотки на стороне ВН: для мощности 400—1000 кВ·А — при отключенном трансформаторе (устройство ПБВ), для большей мощности — под нагрузкой (устройство РПН). В качестве примеров комплектации печей трансформаторами этих типов укажем: для печи ИЧТ-1 емкостью 1 т применен трансформатор ЭОМП-1000/10 мощностью 4000 кВ·А; для печи ИЛК-1,6 емкостью 1,6 т — трансформатор ЭТМН-1000/10 мощностью 1000 кВ·А. Помимо специальных трансформаторов в индукционных установках применяются и некоторые типы трансформаторов для дуговых печей и печей сопротивления. При питании печи с однофазным индуктором от трехфазного печного трансформатора устанавливают симметрирующее устройство, состоящее из реактора и батареи конденсаторов [31].

Для сушки печи и первой плавки необходимо понижать мощность примерно до 30% номинальной. Поэтому печи иногда снабжают вспомогательными трансформаторами или автотрансформаторами. Они могут поочередно подключаться то к одной, то к другой печи. Для канальных печей такой трансформатор обеспечивает возможность работы на холостом ходу.

Преобразователи частоты. В индукционных установках средней частоты в качестве источников питания индукторов применяют двигатель-генераторные (машинные) и тиристорные (статические) преобразователи частоты.

Машинные преобразователи частоты старых серий ВПЧ, ПВ и ВГО (последние две серии уже не выпускаются) и новых серий ОПЧ и ВЭП — основной вид преобразователей, применяемых для питания всех тех действующих индукционных установок, в которых используется ток с частотой 1,0—10 кГц. Преобразователи представляют собой агрегаты из трехфазного асинхронного или синхронного двигателя частоты 50 Гц и однофазного индукторного синхронного генератора средней частоты. В таких генераторах обмотки переменного тока и возбуждения (постоянного тока) размещены в пазах статора. Ферромагнитный ротор имеет зубчатую форму наружной поверхности и не несет на себе обмоток. При вращении ротора изменяется воздушный зазор между статором и ротором в зависимости от того, происходит ли под соответствующим полюсом статора зубец или паз

ротора. Это приводит к созданию пульсирующего магнитного потока, пересекающего витки обмотки переменного тока, и наведению в последней ЭДС повышенной частоты $f = z_p\omega/(2\pi)$, где z_p — число зубцов ротора, ω — его угловая скорость (рад/с).

Исполнение агрегатов ПВ и ВГО — горизонтальное, агрегатов других серий — вертикальное. Охлаждение агрегатов ВГО и ПВ защищенного исполнения — воз-

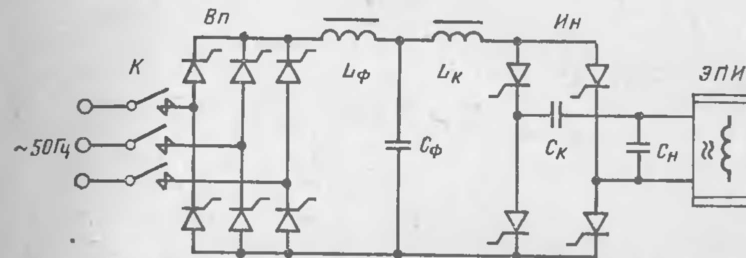


Рис. 1-25. Схема силовых цепей тиристорного преобразователя частоты.

душное, агрегатов ПВ закрытого исполнения — водяное, агрегатов ВПЧ, ОПЧ и ВЭП — воздушно-водяное.

Агрегаты серии ВПЧ изготовляются на мощности от 12 до 100 кВт, напряжения от 200 до 800 В и рабочие частоты в пределах 2400—8000 Гц; агрегаты серии ОПЧ — на мощности 250—500 кВт, напряжение 800—1600 В и частоты 1—10 кГц; агрегаты серии ВЭП — на мощности 60 и 100 кВт, напряжение 800/400 В и частоты 2,4 и 8 кГц.

Возбуждение генераторов осуществляется от электромашинных и магнитных усилителей, а также от тиристорных возбудителей — управляемых выпрямителей, встраиваемых в шкафы и станции управления печами.

Тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) — новый вид источников питания средней частоты, который в перспективе должен заменить машинные преобразователи. В настоящее время выпускаются преобразователи серии СЧИ на номинальные мощности 100 и 250 кВт и номинальную частоту 3,0 кГц (с регулированием ее от 67 до 100%) и серии ТПЧ на номинальные мощности от 160 до 3200 кВт и номинальные частоты 0,5; 1,0; 2,4; 8,0 кГц (с регулированием от 80 до 100%). Номинальное напряжение преобразователей в основном равно

800 В и регулируется в пределах от 50—70 до 110—125%.

Тиристорные преобразователи частоты серий СЧИ и ТПЧ построены по схемам с промежуточным звеном постоянного тока. На рис. 1-25 приведена схема силовой цепи такого преобразователя. Звено постоянного тока представляет собой управляемый тиристорный выпрямитель *Вп*, собранный по трехфазной мостовой схеме. Выпрямленный ток сглаживается фильтром, состоящим из реактора $L_ф$ и конденсатора $C_ф$. Однофазный мостовой инвертор *Ин* — с емкостной коммутацией, совершаемой при помощи конденсатора $C_к$ и реактора $L_к$, преобразует постоянный ток в переменный ток средней частоты, который питает нагрузку — электропечь индукционную *ЭПИ* и компенсирующие конденсаторы $C_н$.

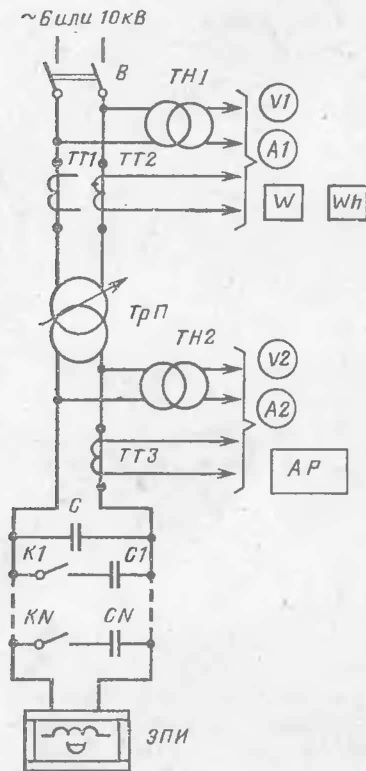


Рис. 1-26. Электрическая схема питания индукционной печи промышленной частоты.

Конструктивно тиристорные преобразователи частоты выполняются в виде крупноблочного комплектного устройства, собранного из шкафов двустороннего обслуживания.

Конденсаторы. В индукционных ЭТУ промышленной частоты, как правило, используются конденсаторы общего назначения КМ, КС и другие, кроме установок с рабочими напряжениями выше 1000 В, для которых выпускаются специальные конденсаторы типа КСЭ и КСЭК. Конденсаторы должны иметь встроенные внутрь их корпуса плавкие предохранители и разрядные резисторы.

В индукционных ЭТУ средней частоты применяются конденсаторы с рабочей частотой 0,8—2,0 кГц старых серий ЭМ, ЭМВ, ЭС и других, которые рекомендуется заменять на конденсаторы новой серии ЭСВ.

Электрические схемы питания индукционных плавильных установок. Типовая принципиальная электрическая схема силовой части установки индукционной тигельной печи промышленной частоты приведена на рис. 1-26. Напряжение на печь *ЭПИ* подается после включения выключателя *В*. На стороне ВН печного трансформатора *ТрП* через трансформаторы напряжения *ТН1* и тока *ТТ1*, *ТТ2* присоединены измерительные приборы — вольтметр *V1*, амперметр *A1*, ваттметр *W* и счетчик *Wh* активной энергии, потребляемой печью, и аппараты релейной защиты. Параллельно индуктору печи подключена компенсирующая конденсаторная батарея, которая состоит из постоянной присоединенной секции *С* и секций *С1* — *CN*, управляемых контакторами *К1* — *KN*, где *N* — число секций. На стороне низшего напряжения (НН) печной установки от трансформаторов напряжения *ТН2* и тока *ТТ3* получают питание вольтметр *V2* и амперметр *A2*, а также автоматический регулятор режима печи *АР*.

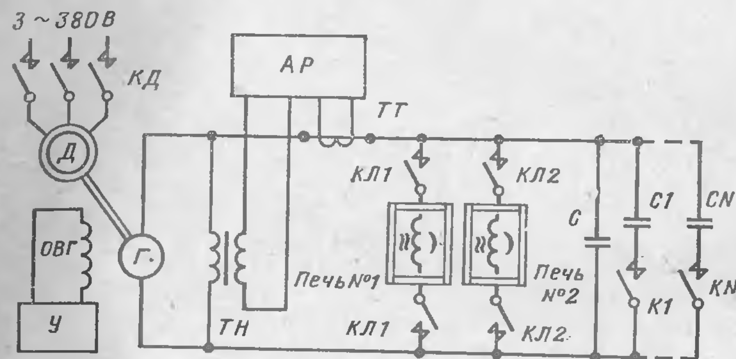


Рис. 1-27. Электрическая схема питания индукционной печи повышенной частоты.

Эта же схема справедлива и для установки канальной печи с той лишь разницей, что будут отсутствовать

регулятор режима *АР* и контакторы *К1 — KN*, поскольку характерное для канальных печей постоянство режима в процессе работы исключает необходимость подстройки конденсаторной батареи.

На рис. 1-27 изображена типичная схема силовой цепи установки с питанием двух индукционных тигельных печей средней частоты от одного преобразователя, в данном случае от генератора *Г* с приводным двигателем *Д*, который включается контактором *КД*. Обмотка возбуждения *ОВГ* генератора получает питание от усилителя *У* (электромашинного, магнитного или тиристорного). Контакторы *КЛ1* и *КЛ2* служат для поочередного присоединения печей № 1 и 2 к генератору. К трансформаторам *ТН* и *ТТ* подключены аппаратура измерения и регулятор *АР*.

Индукционные нагревательные установки. В такой установке индуктором создается электромагнитное поле; оно наводит в металлической детали вихревые токи, наибольшая плотность которых приходится на поверхностный слой детали; где и выделяется наибольшее количество тепла. Это тепло пропорционально мощности, подведенной к индуктору, и зависит от времени нагрева и частоты тока индуктора. Путем соответствующего выбора мощности, частоты и времени действия нагрев может быть произведен в поверхностном слое разной толщины либо по всему сечению детали.

Индукционные нагревательные установки по способу загрузки и характеру работы бывают периодического и непрерывного действия. Последние могут встраиваться в поточные и автоматические технологические линии.

Индукционный нагрев наиболее широко применяется для поверхностной закалки и для сквозного нагрева под горячую деформацию. По сравнению с нагревом в печах сопротивления он позволяет повысить скорость обработки для разнообразного сортамента деталей и улучшить ее качество, легче поддается автоматизации, дает возможность нагрева отдельных участков детали, требует меньших площадей под рабочие агрегаты. Поверхностная индукционная закалка, в частности, заменяет такие дорогостоящие операции поверхностного упрочнения, как цементация, азотирование и др.

Закалочные установки. Различают три вида поверхностной закалки. При одновременной закалке вся закаливаемая поверхность одновременно нагревается, после

чего одновременно охлаждается (нагрев шеек, фланцев, втулок и пр.). Одновременно-поочередная закалка характерна тем, что отдельные участки детали подвергаются закалке поочередно. Непрерывно-последовательная закалка используется при большой протяженности закаливаемой поверхности и производится при непрерывном движении детали относительно индуктора. Охлаждение нагретой поверхности следует за нагревом. Охладитель и индуктор в последнем случае могут быть как совмещенными, так и раздельными.

Глубина закаленного слоя Δl зависит от частоты f следующим образом:

Δl, мм	3,5—20	1,1—7	0,5—3,5	0,15—1,0
f, Гц	1000	8000	70 000	500 000

В зависимости от вида поверхностной закалки и конфигурации деталей используют различные конструкции закалочных индукторов. На рис. 1-28, *а* показан индуктор для одновременной закалки наружных цилиндрических поверхностей. Индуктор состоит из индуктирующего провода *1*, который создает переменное магнитное поле, токоподводящих шин *2*, контактных колодок *3* для

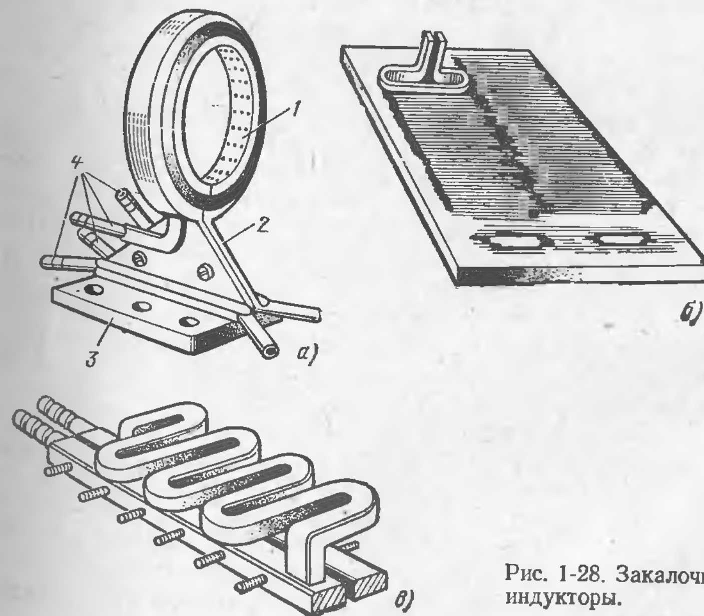


Рис. 1-28. Закалочные индукторы.

соединения индуктора с источником питания, трубок *4* для подачи и отвода воды.

Для закалки плоских поверхностей применяют одно- и многовитковые индукторы. На рис. 1-28, *б* показан одновитковый индуктор для закалки непрерывно-последовательным методом, на рис. 1-28, *в* — многовитковый индуктор для закалки одновременным методом.

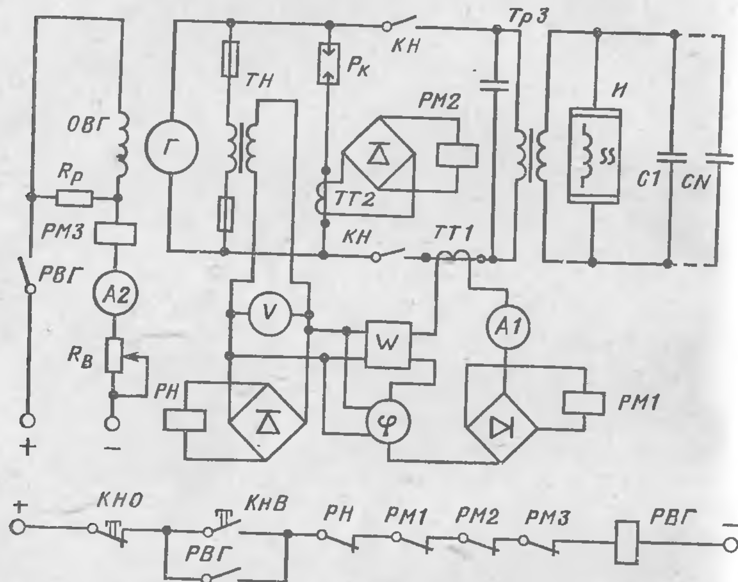


Рис. 1-29. Электрическая схема индивидуального питания индукционной закалочной или нагревательной установки повышенной частоты.

Источниками питания закалочных индукторов средней частоты служат рассмотренные выше электромашинные и тиристорные преобразователи, обеспечивающие рабочие частоты до 8 кГц.

На рис. 1-29 приведена схема питания индукционной закалочной установки средней частоты с применением двигатель-генераторного преобразователя. Структура силовой части отличается здесь от схемы на рис. 1-27 некоторыми элементами. Напряжение на индукторе *И* закалочной установки, как правило, невелико (15—120 В), поэтому для согласования с напряжением генератора

индуктор включается через понизительный трансформатор *Тр3* («закалочный»), специально сконструированный для работы на средней частоте. Контактор *КН* используется только для отключения генератора при мелких ремонтах или наладке схемы. Оперативное включение и отключение нагрева производится после нажатия на кнопку *КнВ* или *КнО* путем подачи или соответственно снятия возбуждения генератора, для чего служит реле *РВГ*. Контакт реле введен в цепь обмотки возбуждения *ОВГ* генератора.

Для предотвращения аварийных перенапряжений на «чистой» емкости при обрыве цепи индуктора якорь генератора закорачивается безынерционным пробивным разрядником *Рк*. В цепь разрядника включен трансформатор тока *ТТ2*; ко вторичной обмотке его через выпрямитель подключено максимальное токовое реле *РМ2*, контакт которого отключает реле *РВГ*. Если по какой-то другой причине напряжение генератора чрезмерно повысится, то сработает подключенное через выпрямитель к трансформатору напряжения *ТН* реле напряжения *РН*, которое своим контактом отключит реле *РВГ*. Реле *РН* настраивается на срабатывание при напряжении генератора, меньшем напряжения пробоя разрядника. Максимальные токовые реле *РМ3* и *РМ1* (последнее подключено к трансформатору тока *ТТ1* через выпрямитель) осуществляют защиту от токов к. з. соответственно цепи обмотки *ОВГ* и силовой цепи установки. Разрядный резистор $R_р$ обеспечивает защиту обмотки *ОВГ* от перенапряжений при размыкании контакта *РВГ*.

Электрический режим работы установки контролируется при помощи измерительных приборов *А1*, *А2*, *V*, *W* и φ. Для регулирования напряжения генератора служит реостат $R_в$.

При высокой производительности и специализации на одной детали закалочная установка приобретает вид станка. Такой станок обеспечивает закрепление закаливаемой детали, ее перемещение в процессе закалки, подачу закалочной среды на деталь, охлаждение детали. Все электрооборудование устанавливается в комплектных устройствах — шкафах управления.

Индукционные закалочные станки типа ИЗУ имеют по средней частоте мощность 150—300 кВт, типов ИЗ1 и ИЗ2 — от 30 до 200 кВт. Частота тока 2,5 и 8 кГц.

В высокочастотных закалочных установках в качестве источника применяется ламповый генератор, принципиальная схема которого изображена на рис. 1-30. Основные элементы генератора: трехфазный повышающий анодный трансформатор *1*, выпрямительный мост *2* на тиратронах (или на высоковольтных кремниевых вентилях) со сглаживающим дросселем *Др* и напряжением

Рис. 1-30. Принципиальная электрическая схема лампового генератора.

постоянного тока на выходе моста до 10—15 кВ, генераторный блок *3* с трехэлектродной лампой *ЛГ*, преобразующий энергию постоянного тока в энергию высокочастотных электрических колебаний, колебательный контур *4*, состоящий из конденсаторной батареи $C_к$ и воздушного трансформатора $L_к$, во вторичную цепь которого включен индуктор *И*. Генератор собран по схеме с самовозбуждением. Для получения незатухающих колебаний на сетку лампы подается напряжение, находящееся в противофазе с ее анодным напряжением, для чего применена индуктивная обратная связь от колебательного контура.

Закалочные установки с ламповыми генераторами изготовляются на частоты 66 или 440 кГц при мощности на выходе от 25 до 250 кВт. Например, установка типа ЛЗ-107В на лампе ГУ-23А имеет мощность 100 кВт при частоте 66 кГц.

Установки индукционного сквозного нагрева работают как на частоте 50 Гц, так и на средней частоте (от 1 до 10 кГц). В крупносерийном производстве применяют установки непрерывного действия, при мелкосерийном производстве — установки периодического действия. Частота тока f, используемая, например, при сквозном нагреве стальных заготовок диаметром d (или толщиной a): при $d=15\pm70$ мм $f=8$ кГц; при $d=70\div250$ мм $f=500$ Гц; при $d>250$ мм $f=50$ Гц.

Основным элементом индукционного нагревательного блока служит многовитковый индуктор. Он представляет собой катушку из медной водоохлаждаемой

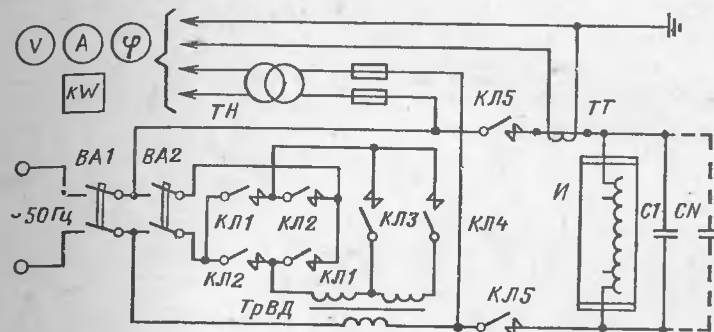


Рис. 1-31. Электрическая схема питания индукционной нагревательной установки промышленной частоты.

трубки, зажатую по всей длине между двумя деревянными брусками и с торцов стянутую асбоцементными плитами. Витки катушки изолированы. Внутри катушки вставлены гильзы из миканита (для электрической изоляции), гильза из асбестового картона и шамотные кольца (для тепловой изоляции). Заготовки продвигаются через индуктор по трубчатым направляющим из жаропрочной немагнитной стали, охлаждаемым водой с внутренней стороны.

Установки частоты 50 Гц мощностью до 3000 кВт питаются обычно от трансформаторов общего назначения со вторичным напряжением 380 В, т. е. от цеховой сети. Типовая силовая схема такой установки приведена на рис. 1-31. Вольтодобавочный трансформатор *ТрВД* позволяет регулировать мощность индуктора *И*. Первичные обмотки *ТрВД*, переключаемые контакторами *КЛ1—КЛ4*, наводят во вторичной обмотке, включенной в контур индуктора, напряжение, которое суммируется или вычитается из напряжения сети.

Установки средней частоты получают питание от машинных или тиристорных преобразователей частоты.

Различают индивидуальное и централизованное питание установок для сквозного нагрева. При индивидуальном питании каждая установка имеет свой автономный преобразователь частоты. При таком способе питания в установках периодического действия преобразователь недоиспользуется по мощности и во времени. При централизованном питании нескольких нагревательных устройств от нескольких параллельно соединенных преобразователей использование последних улучшается, но регулирование режима нагрева на отдельном нагревательном устройстве невозможно.

Рис. 1-32. Общий вид кузнечного нагревателя в комплексном исполнении.

Мощность установок по средней частоте, например с так называемым кузнечным нагревателем, лежит в пределах от 150 до 1500 кВт (установки типа КИН).

Электрическая схема силовой части при индивидуальном питании аналогична схеме на рис. 1-29.

Установка с кузнечным нагревателем (рис. 1-32) комплектуется оборудованием, выполненным в виде унифицированных блоков: нагревательного блока *7* с индуктором *1* и механизмом разгрузки; блока подачи заготовок *3* с механизмом загрузки, толкателем и его приводом; трансформаторного шкафа *5*; шкафа управления *4*; блока конденсаторной батареи *6*. Блоки установлены на раме *2*.

Автоматическое регулирование индукционных установок. Степень автоматизации управления индукционными установками и применяемые при этом способы и средства зависят от особенностей рабочего процесса установки.

Так, для установок канальных плавильных печей частоты 50 Гц автоматическое регулирование не требуется. Поскольку каналы почти всегда заполнены жидким металлом с практически постоянной температурой, процессы в шихте не влияют на выделение мощности в каналах. Электрический режим печи зависит только от напряжения сети, а коэффициент мощности установки во времени не изменяется. Процессы в печи протекают медленно, и главное требование при поддержании режима сводится к предотвращению чрезмерного перегрева расплава. Это может быть достигнуто путем изменения электрической мощности печи при ручном управлении в зависимости от температуры расплава, измеряемой периодически.

Рис. 1-33. Схема автоматического управления электрическим режимом индукционной печи.

Напротив, в тигельных плавильных печах электрический режим существенно зависит от процессов в тигле, поскольку электрические параметры (индуктивное и активное сопротивления) системы индуктор—садка изменяются по ходу нагрева. Это вызывает необходимость постоянной корректировки режима путем изменения напряжения питания и емкости конденсаторной батареи, что наилучшим образом достигается только средствами автоматического регулирования. Укажем также на специфическую особенность тигельных печей — возможность возникновения аварийного режима из-за проедания тигля жидким металлом. Поэтому современные тигельные печи оснащаются устройствами, сигнализирующими о проникновении расплава в материал тигля.

Нагревательные индукционные установки в общем случае также требуют регулирования напряжения питания в емкости конденсаторной батареи.

На рис. 1-33 представлена схема, иллюстрирующая принципы построения систем автоматического регулирования электрического режима индукционных установок. В основу схемы положена структура системы управления режимом индукционной плавильной печи средней частоты. Система состоит из трех блоков: автоматического регулятора коэффициента мощности *РКМ*, автоматического регуля-

тора возбуждения генератора *РВГ* и блока автоматического переключения числа витков индуктора *БПИ*.

Регулятор *РКМ*, контролируя фазовый сдвиг между напряжением и током генератора, осуществляет поддержание заданного значения коэффициента мощности установки (обычно близкого к единице) с точностью ±3%. Это достигается путем автоматического переключения конденсаторов *С1 — CN* при помощи контакторов *KM1—KMN*, где *N* — число ступеней. Переключение ступеней производится при снятом возбуждении генератора.

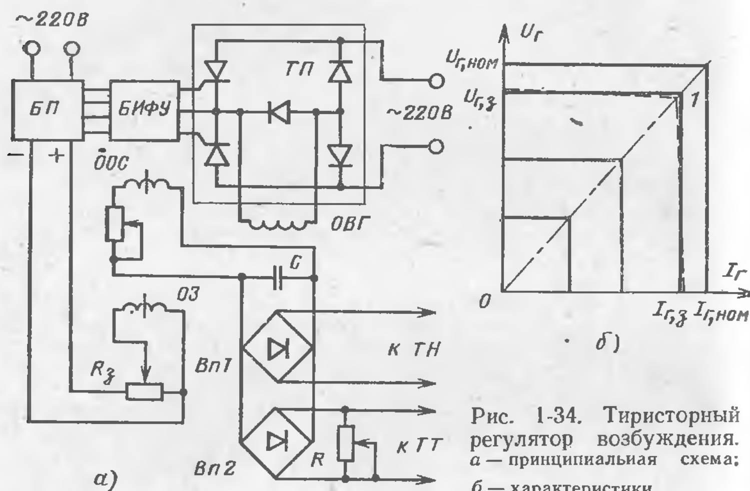


Рис. 1-34. Тиристорный регулятор возбуждения.
а — принципиальная схема; *б* — характеристики.

Регулятор *РВГ* поддерживает с точностью ±2% заданные значения напряжения генератора $U_{г,з}$ при $R_э/R_{ном} \geqslant 1$ и тока генератора $I_{г,з}$ при $R_э/R_{ном} < 1$. Здесь $R_э$ — эквивалентное активное сопротивление нагрузки, т. е. контура индуктор—конденсаторы; $R_{ном}$ — номинальное активное сопротивление нагрузки данного генератора, при котором он может отдать максимальную мощность в области значений $U_г$ и $I_г$, ограниченной заданными (предельно допустимыми) значениями $U_{г,з}$ и $I_{г,з}$.

На рис. 1-34, *а* приведена упрощенная принципиальная электрическая схема современного тиристорного регулятора возбуждения генератора. Выпрямительная часть регулятора — тиристорный преобразователь *ТП* — собрана по простейшей полууправляемой однофазной мостовой схеме с двумя тиристорами и двумя диодами, а также нулевым диодом, шунтирующим нагрузку — обмотку возбуждения генератора *ОВГ*. Блок импульсно-фазового управления тиристорами *БИФУ* выполнен на базе стандартного магнитного усилителя типа ТУМ-А. Усилитель имеет задающую обмотку *ОЗ*, в которую подается сигнал задания с потенциометра $R_з$, и обмотку *ООС* отрицательных обратных связей по напряжению $U_г$ и току $I_г$ генератора. Сигналы обратных связей поступают в обмотку *ООС* от трансформаторов *ТН* и *ТТ* (см. рис. 1-33) через выпрямители *Вп1* и *Вп2*, включенные параллельно. Сопротивление резистора *R* на входе *Вп2*

подбирается так, чтобы при $U_г/I_г = U_{г,з}/I_{г,з} = R_{ном}$ напряжения на выходах выпрямителей *Вп1* и *Вп2* были равны. При $R_э = U_г/I_г > R_{ном}$ напряжение на выходе *Вп2* больше, чем на выходе *Вп1*, и регулятор осуществляет стабилизацию напряжения генератора. При $R_э < R_{ном}$ напряжение на выходе *ВП1* больше, чем на выходе *Вп2*, и в этом случае регулятор стабилизирует ток генератора путем снижения напряжения. Внешняя характеристика генератора $U_г = f(I_г)$ при работе с регулятором имеет вид, показанный на рис. 1-34, *б* (штриховые линии). Практически она представляется отрезками горизонтальной и вертикальной сплошных линий. При уменьшении потенциометром $R_з$ сигнала задания характеристика $U_г = f(I_г)$ смещается ближе к началу координат. Увеличение сигнала задания приводит к перемещению характеристики $U_г = f(I_г)$ в противоположном направлении вплоть до характеристики, отвечающей номинальным значениям напряжения $U_{г,ном}$ и тока $I_{г,ном}$ генератора.

Очевидно, что чем ближе будет значение $R_э$ к $R_{ном}$, тем меньше отклонения $U_г$ и $I_г$ и мощности печи *P* от заданных значений $U_{г,з}$, $I_{г,з}$ и $P_з$. Такое согласование осуществляется дополнительным блоком *БПИ* (см. рис. 1-33). Индуктор печи выполняется по автотрансформаторной схеме с отпайками. Чаще всего используется одна отпайка, как показано на схеме, т. е. включается либо полный индуктор *И* (замкнут контакт *К1*, контакт *К2* разомкнут), либо отпайка (замкнут *К2*, разомкнут *К1*).

В блок *БПИ* подаются сигналы, пропорциональные напряжению и току генератора, т. е. вводится фактическая величина $R_э$. При помощи логической схемы с памятью она сопоставляется со значением $R_{ном}$, и определяется также направление изменения $R_э$ в ходе плавки, в зависимости от чего включается один из контакторов *К1* или *К2*. Обычно в начале плавки $R_э < R_{ном}$ и $R_э$ постепенно возрастает. При этом включен контактор *К1*, т. е. полный индуктор. После того как $R_э$ превысит $R_{ном}$ на заранее заданную величину, контактор *К1* отключится, а контактор *К2* включится. Теперь к генератору присоединена отпайка индуктора. Поэтому уменьшится коэффициент трансформации последнего, а значит, снизится эквивалентное сопротивление контура индуктор — конденсаторы с учетом вторичной цепи (в металле садки). Новое значение $R'_э$ будет несколько меньше $R_{ном}$. Далее по ходу плавки $R'_э$ будет возрастать, а затем по мере расплавления садки — снижаться. После того как оно станет меньше $R_{ном}$ (тоже на определенную заданную величину), отключится контактор *К2*, вновь включится контактор *К1* и т. д. Таким образом, блок *БПИ* осуществляет двухпозиционное регулирование нагрузки.

На описанном принципе построены серийно выпускаемые промышленностью станции ШДА-4200.

Для индукционных тигельных печей частоты 50 Гц применяются различные по составу устройства автоматического регулирования, например только с регулятором коэффициента мощности (регулятор типа АРИК) без переключения ступеней напряжения печного трансформатора, или регулятор типа АРИР, в который входит также блок РПН для управления автоматическим переключением ступеней напряжения.

На базе регуляторов электрического режима могут быть построены и системы автоматического регулирования теплового режима индукционных ЭТУ.

Глава вторая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРКИ

2-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОСВАРКЕ

Электросваркой называется способ получения неразъемного соединения металлических деталей путем их местного нагрева до жидкого или пластического состояния с использованием для нагрева электрической энергии. Наиболее распространенные виды электросварки — дуговая и контактная.

При дуговой электросварке соединяемые детали обычно нагреваются вместе с присадочным материалом при помощи электрической дуги, температура в которой превышает 5000° С. В зоне сварки создается ванночка расплавленного металла, которая при охлаждении затвердевает и образует сварной шов, прочно соединяющий свариваемые детали.

При контактной электросварке детали в месте соединения нагревают до оплавления (иногда — до пластического состояния) и сжимают с определенным усилием. Нагрев осуществляется теплом, которое выделяется в точках контактов между деталями при прохождении через них электрического тока. Присадочный материал не добавляется.

На предприятиях электромашиностроения установки электросварки применяют для сварки остовов генераторов и двигателей постоянного тока, приварки к остовам лап, изготовления сварных кожухов электрических машин, сварки крестовин и т. д. Электросварка широко используется при монтажных и ремонтных работах.

Дуговая сварка имеет несколько разновидностей. По особенностям использования электрической дуги различают сварку открытой дугой, закрытой дугой под слоем флюса, защищенной дугой в среде защитного газа. В зависимости от степени механизации и автоматизации процесса сварки говорят о ручной, полуавтоматической и автоматической сварке. Наконец, сварка может производиться на постоянном и на переменном токе однофазной и (реже) трехфазной дугой. Сварка на постоянном токе дороже и требует более сложного оборудования, но дает более высокое качество сварного шва.

Самое широкое применение для сварки черных металлов получила ручная электросварка открытой дугой с плавящимся электродом (рис. 2-1, *а*). Дуга, получая питание от источника *2* переменного или постоянного тока, горит в воздухе между свариваемыми деталями *1*

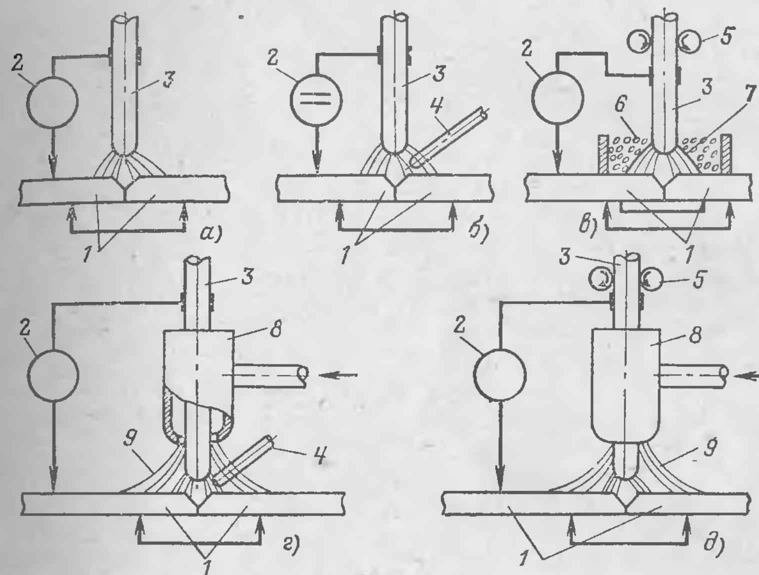


Рис. 2-1. Разновидности дуговой электросварки.

и электродом *3*, который плавится в процессе сварки и участвует в образовании сварного шва. Электрод из проволоки, по химическому составу близкой к металлу свариваемых деталей, покрыт обмазкой. Она содержит вещества, которые образуют при расплавлении шлаки и газы, повышающие устойчивость дуги и в известной мере защищающие расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха.

Ручная сварка открытой дугой с неплавящимся электродом (рис. 2-1, *б*) используется обычно при сварке деталей из цветных металлов и сплавов. В этом случае применяется источник постоянного тока. Дуга горит между свариваемыми деталями *1* и электродом *3* (уголь-

ным или графитовым). В зону сварки вводится присадочный пруток *4*.

При автоматической и полуавтоматической сварке закрытой дугой под флюсом с плавящимся электродом (рис. 2-1, *в*) дуга горит под находящимся на свариваемых деталях *1* слоем сыпучего вещества — флюса *6*. Голая электродная проволока *3* автоматически подается в зону сварки через флюс с помощью подающего механизма *5*. Дуга получает питание от источника *2* переменного или постоянного тока. При сварке под флюсом в зоне сварочной дуги под действием высокой температуры флюс расплавляется и образует своеобразный газовый пузырь. Оболочка *7* последнего надежно защищает расплавленный металл от действия кислорода и азота воздуха. При автоматической сварке автоматизируется и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок; при полуавтоматической сварке это перемещение осуществляется вручную. Автоматическая сварка под флюсом дает высокое качество сварного соединения; ее производительность в 6—12 раз выше, чем ручной дуговой сварки.

Сварка защищенной дугой в среде защитного газа характерна тем, что в зону сварки специально подают аргон или смеси его с небольшим количеством активных газов (аргонодуговая сварка) или углекислый газ. Ручная аргонодуговая сварка неплавящимся электродом (рис. 2-1, *г*) на постоянном и переменном токе от источника *2* применяется при изготовлении конструкций *1* из нержавеющих и жаропрочных сталей, цветных металлов и их сплавов, при сварке тонкого металла. Вольфрамовый электрод *3* помещен в газоэлектрическую горелку *8*, к которой под давлением подводится газ из баллона. Вытекающая из сопла горелки струя газа *9* защищает в зоне сварки основной металл и металл присадочного прутка *4* от воздействия кислорода и азота воздуха. При автоматической и полуавтоматической сварке в среде аргона или углекислого газа используется плавящийся электрод (рис. 2-1, *д*). Неизолированная электродная проволока *3* при помощи механизма *5* непрерывно подается через горелку *8* в зону сварки, которая отделена от окружающего воздуха струей газа *9*. Сварка в среде аргона производится как на переменном, так и на постоянном токе, сварка в среде углекислого газа (она применяется для сталей любого состава) — на постоянном токе. Сварка в среде углекислого газа для

многих видов работ экономически эффективнее других способов сварки.

При питании сварочной дуги постоянным током свариваемые детали чаще всего соединяют с положительным полюсом источника, а электрод — с его отрицательным полюсом. Это — так называемая «прямая полярность» сварки. В дуге в области анода выделяется

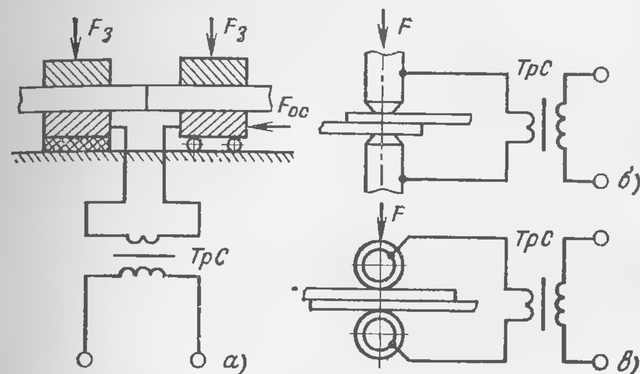


Рис. 2-2. Разновидности контактной электросварки.

большее количество тепла, чем в области катода, поэтому при сварке с прямой полярностью бо́льшую долю тепла получают служащие анодом свариваемые детали, которые обычно массивнее электрода. Но в ряде случаев (при сварке тонких листов, некоторых цветных металлов, при сварке в среде углекислого газа и др.) применяют и «обратную полярность», когда электрод является анодом.

Оборудование для дуговой сварки используется и при резке и наплавке металлов, например при ручной дуговой резке металлическим или угольным электродом открытой дугой, аргонодуговой резке и наплавке и т. п.

Контактная электросварка имеет следующие разновидности: стыковая сварка, точечная и роликовая (шовная). Сварку производят на контактных машинах переменным однофазным током большого значения (до тысяч и десятков тысяч ампер) при малых напряжениях (единицы вольт) или мощными однополярными импульсами тока (только для точечной и роликовой сварки).

При стыковой сварке (рис. 2-2, *а*) детали сваривают по всей плоскости их касания. В зависимости от марки металла, площади сечения и требований к качеству соединения процесс стыковой сварки осуществляют по-разному. Для сравнительно малых сечений свариваемых деталей (до 300 мм²) применяют стыковую сварку сопротивлением. Заготовки с механически обработанными и зачищенными торцами устанавливают в стыковую машину и закрепляют усилием $F_з$. После этого их прижимают одну к другой усилием осадки $F_{ос}$ определенного значения и пропускают через них ток от трансформатора *ТрС*. При нагреве металла в зоне сварки до пластического состояния происходит осадка. Ток выключают еще до окончания осадки. При больших сечениях применяют стыковую сварку оплавлением. Ее производят в три стадии: предварительный подогрев, оплавление и окончательная осадка — или только в две последние стадии. Предварительный подогрев в зажимах машины выполняют периодическим смыканием и размыканием деталей при постоянно включенном токе. При этом происходит процесс прерывистого оплавления торцов. Затем детали непрерывно медленно сближают, заготовки прогреваются в глубину до пластического состояния, а на торцах возникает тонкий слой расплавленного металла, после чего резко увеличивают скорость сближения, осуществляя осадку небольшим усилием $F_{ос}$. Стыковая сварка оплавлением дает более высокую прочность шва, не требует предварительной механической обработки, позволяет сваривать детали из разнородных металлов.

При точечной сварке листов (рис. 2-2, *б*) детали соединяют сваркой в отдельных местах, условно называемых точками. Заготовки устанавливают между электродами точечной машины и плотно сжимают усилием *F*. Включают ток, и заготовки быстро нагреваются, особенно в месте контакта — чечевицеобразной «точке» под электродами, в которой металл расплавляется и образуется сварная точка, диаметр которой обычно близок к диаметру электродов. После этого ток выключают и заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия *F*. Точечная сварка применяется для соединения не только листовых заготовок, но и листовых заготовок со стержнями или уголками, швеллерами и т. п. Свариваемые детали могут быть из однородных и из разнородных металлов. Толщина заготовок — от сотых долей миллиметра до 35 мм. Разновидностью точечной сварки является так называемая рельефная сварка. Она характерна тем, что на одной из заготовок предварительно изготовляют выступы (рельефы) круглой, продолговатой или иной формы. Сварку осуществляют одновременно по всем рельефам или последовательно один за другим.

Роликовая сварка (рис. 2-2, *в*) заключается в том, что заготовки соединяют непрерывным прочноплотным сварным швом, который состоит из ряда последовательных точек, частично перекрывающих друг друга. Заготовки устанавливают в сварочной машине между роликами, один из которых ведущий, или между одним ведущим роликом и оправкой. На ролики действует усилие *F* механизма давления, и к ним подведен ток. Наиболее распространены два способа роликовой сварки: 1) при непрерывном вращении роликов прерывистым (импульсным) включением тока; 2) включение тока при неподвижных роликах и вращение роликов при выключенном токе (шаговая сварка).

2-2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Характеристики сварочной дуги. Статические вольт-амперные характеристики сварочной дуги, т. е. зависимости в установившемся процессе сварки напряжения дуги $U_д$ от сварочного тока $I_{св}$ (тока дуги), показаны на рис. 2-3 для трех различных значений длины дуги. В области *I*, т. е. при малых токах (например до 100 А для ручной сварки открытой дугой), характеристика дуги падающая. При средних значениях тока (например от 100 до 1000 А для ручной сварки открытой дугой и автоматической сварки под флюсом тонкой проволокой) напряжение дуги практически не зависит от тока (область *II*). В этом случае

$$U_д = a + bl_д, \tag{2-1}$$

где a и b — постоянные коэффициенты; $l_д$ — длина дуги.

Значения $U_д$ обычно лежат в пределах 25—50 В для ручной сварки открытой дугой, 30—40 В для сварки под флюсом и 20—30 В для сварки в среде защитных газов.

6—612

При больших токах (свыше 1000 А для автоматической сварки под флюсом толстой проволокой), т. е. в области *III*, дуга имеет возрастающую характеристику. Для сварки в среде защитных газов эта область характеристики начинается при значительно меньших токах.

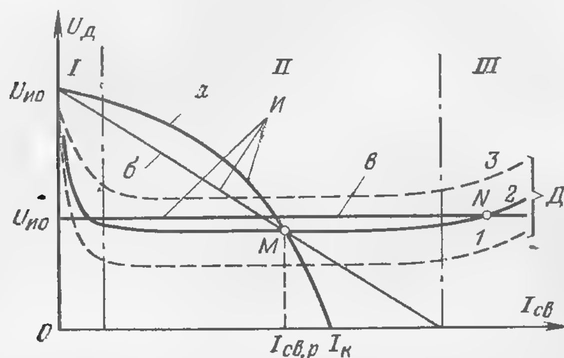


Рис. 2-3. Статические вольт-амперные характеристики сварочной дуги (*Д*) и внешние характеристики источника питания (*И*).

1 — короткая дуга; *2* — средняя дуга; *3* — длинная дуга.

Сварочная дуга переменного тока менее устойчива, чем дуга постоянного тока. В каждый полупериод переменного тока дуга угасает и вновь зажигается (восстанавливается). Перерывы в горении дуги будут тем меньше, чем выше напряжение холостого хода источника (при прочих равных условиях). Для сварки открытой дугой напряжение зажигания $U_з$ связано с напряжением дуги $U_д$ зависимостью

$$U_з = 1{,}3 \div 2{,}5\,U_д. \qquad (2\text{-}2)$$

При сварке на больших токах под флюсом $U_з$ мало отличается от $U_д$.

Требования к источникам питания сварочной дуги. Устойчивость дуги в процессе сварки зависит от соответствия внешней характеристики источника $U_и = \varphi(I_{св})$ форме статической характеристики дуги $U_д = f(I_{св})$ в данном процессе. Внешняя характеристика *И* источника (рис. 2-3) может быть круто падающей (кривая *а*), полого падающей (кривая *б*) и жесткой (кривая *в*),

2-4, *а*) имеется общий магнитопровод *2* с тремя обмотками: первичной *1*, вторичной *5* и реактивной *3*. Верхняя часть магнитопровода разъемная и имеет подвижный магнитный шунт *4*. Изменением положения шунта, т. е. величины зазора в магнитопроводе, можно регулировать вторичный (сварочный) ток. Чем больше зазор, тем большим будет и ток. Перемещение шунта производится электроприводом с дистанционным управлением. По такой схеме изготовляются трансформаторы типов ТСД (на 500, 1000 и 2000 А) и СТ (на 1000 и 2000 А). Эти трансформаторы (за исключением ТСД-500) имеют несколько ступеней изменения напряжения холостого хода U_{20} путем переключения отпаек вторичной обмотки и предназначены для автоматической сварки под флюсом. Трансформатор ТСД-500 на номинальный ток 500 А при $ПВ_{ном} = 60\%$ с $U_{20} = 80$ В и пределами регулирования сварочного тока от 200 до 600 А используется также и для ручной дуговой сварки.

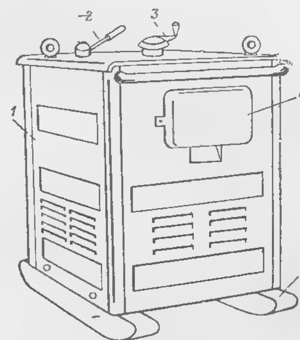


Рис. 2-5. Трансформатор типа ТД-303.

1 — кожух; *2* — рукоятка переключателя диапазонов; *3* — маховичок механизма перемещения катушек вторичной обмотки; *4* — щиток с зажимами для подключения питания и сварочной цепи; *5* — полозья.

В трансформаторах с подвижными катушками (рис. 2-4, *б*) для регулирования сварочного тока изменяют расстояние между первичной (неподвижной) *1* и вторичной обмоткой *5*. Катушки вторичной обмотки скользят по стержням магнитопровода *2*. При сближении обмоток *5* и *1* индуктивность рассеяния уменьшается, что приводит к увеличению сварочного тока. Катушки вторичной обмотки перемещаются вручную при помощи винтового механизма. На таком принципе построено большинство выпускаемых в настоящее время сварочных трансформаторов (типов ТС на токи от 120 до 500 А, ТСК и ТД на токи 300 и 500 А).

Трансформаторы новых типов ТД-303 (рис. 2-5) и ТД-504 имеют переключатель диапазонов, при помощи которого катушки обеих обмоток переключаются с параллельного соединения на последовательное;

это дает два диапазона изменения сварочного тока. Например, трансформатор ТД-504 на номинальный ток 500 А (при $ПР_{ном}=60\%$) в диапазоне I позволяет при $U_{20}=60$ В регулировать сварочный ток от 240 до 750 А, в диапазоне II при $U_{20}=70$ В— от 75 до 240 А. Номинальное вторичное напряжение $U_{2ном}=30$ В.

Трансформаторы типов ТС и ТСК (последние отличаются от трансформаторов типа ТС наличием конденсаторов, включенных параллельно первичным обмоткам для повышения cos φ), а также типа ТД предназначены для ручной дуговой сварки.

В трансформаторах с магнитным шунтом (рис. 2-4, *в*) изменение индуктивного сопротивления рассеяния производится при помощи магнитного шунта *4*, расположенного в окне магнитопровода *2* между разнесенными катушками первичной *1* и вторичной *5* обмоток. При уменьшении зазора между сердечником и шунтом сварочный ток уменьшается. На этом принципе устроены трансформаторы типа СТШ на токи 250, 300 и 500 А. Некоторые из этих трансформаторов имеют переключатель соединения катушек обмоток *1* и *5* с параллельного на последовательное, а также устройство, обеспечивающее отключение трансформатора от сети через 0,5—1 с после прекращения процесса сварки. Трансформаторы типа СТШ предназначены для ручной дуговой сварки и автоматической сварки под флюсом.

Трансформаторы с магнитным шунтом, подмагничиваемым постоянным током (см. рис. 2-4, *г*), имеют в окне магнитопровода *2* между катушками *1* и *5* шунт *4*, на котором размещена обмотка подмагничивания *6*. Изменяя ток $I_п$ в этой обмотке, можно регулировать индуктивное сопротивление рассеяния основных обмоток. При $I_п=0$ это сопротивление минимально и сварочный ток наибольший. Увеличение $I_п$ приводит к уменьшению сварочного тока. Подобную конструкцию имеют трансформаторы новых типов ТДФ-1001 и ТДФ-1601 (соответственно на 1000 и 1600 А при $ПВ_{ном}=100\%$) для автоматической сварки под флюсом. Трансформаторы позволяют осуществить ступенчато-плавное регулирование сварочного тока. Ступенчатое регулирование достигается переключением катушек *5* вторичной обмотки, плавное — изменением тока $I_п$, для чего обмотка *6* питается от однофазного тиристорного выпрямителя.

Плавное регулирование сварочного тока производится реостатом $R_{рег}$ в цепи обмотки *ОВ1*. По такой схеме работают генераторы в однопостовых сварочных преобразователях типа ПСО на токи от 120 до 800 А и нового типа ПД на 500 А, предназначенных для ручной дуговой и автоматической сварки под флюсом. Например, преобразователь ПСО-300 с номинальным током 300 А при

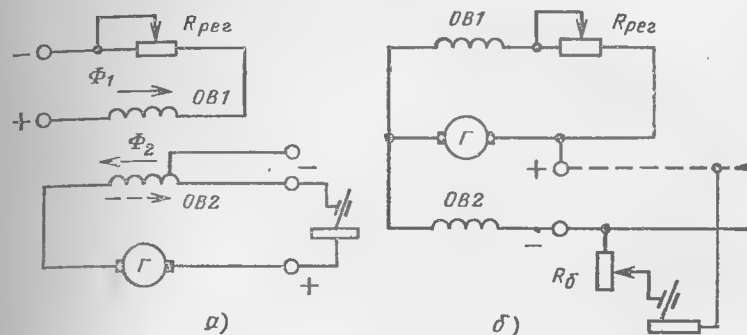


Рис. 2-7. Принципиальные электрические схемы сварочных генераторов постоянного тока.

ПР (ПВ) = 65% и номинальным напряжением 30 В позволяет регулировать сварочный ток от 75 до 300 А.

Если обмотка *ОВ2* генератора имеет небольшое число витков и включена так, что является подмагничивающей, т. е. поток $Ф_2$ направлен согласно с потоком $Ф_1$ и компенсирует поток реакции якоря, то напряжение генератора мало изменяется при изменении сварочного тока. Режим сварки регулируют реостатом $R_{рег}$ в цепи обмотки *ОВ1*. По такой схеме выполнены однопостовые преобразователи типа ПСГ на токи 350 и 500 А с жесткими характеристиками, предназначенные для сварки в защитных газах. Например, пределы регулирования напряжения и тока у преобразователя ПСГ-300 составляют от 15 до 35 В и от 50 до 350 А.

У некоторых типов преобразователей возможно переключение полярности обмотки *ОВ2* генератора (например, у однопостового универсального преобразователя ПСУ-500 на ток 500 А). Такой преобразователь дает как падающие, так и жесткие внешние характеристики,

он пригоден для ручной дуговой сварки и для сварки в защитных газах.

Генератор с самовозбуждением (рис. 2-7, *б*), выполненный с размагничивающей обмоткой *ОВ2*, имеет падающие характеристики (например, генератор однопостового преобразователя ПС-1000 на 1000 А для автоматической сварки под флюсом). Сварочный ток регулируется реостатом $R_{рег}$ в цепи параллельной обмотки возбуждения *ОВ1*. Пределы регулирования тока — от 300 до 1200 А. Номинальное напряжение 45 В.

По схеме на рис. 2-7, *б* с подмагничивающей обмоткой *ОВ2* выпоняют генераторы многопостовых преобразователей. Такой генератор имеет очень жесткую внешнюю характеристику: его напряжение практически не изменяется при изменении тока. Так, например, преобразователь ПСМ-1000 рассчитан на одновременное питание девяти или шести постов с максимальным током поста 200 или 300 А. Преобразователь снабжается комплектом из девяти или шести балластных реостатов $R_б$. Приводной асинхронный двигатель имеет мощность 75 кВт.

В настоящее время машинные сварочные преобразователи постоянного тока вытесняются полупроводниковыми сварочными выпрямителями.

Сварочные выпрямители весьма многообразны по конструкциям, электрическим схемам и назначению. Можно выделить две основные разновидности сварочных выпрямителей: с неуправляемыми вентилями и с тиристорами. Независимо от конкретных особенностей типов выпрямителей каждый из них имеет следующие основные узлы: понижающий сухой трехфазный трансформатор; выпрямительный блок; пускорегулирующую и защитную аппаратуру; принудительную воздушную вентиляцию (в большинстве случаев). Все выпрямители подключаются к сети 220 или 380 В.

Сварочные выпрямители с неуправляемыми вентилями делятся на однопостовые и многопостовые, причем однопостовые выпрямители изготовляются с селеновыми или кремниевыми вентилями, многопостовые — с кремниевыми. Большинство однопостовых выпрямителей имеет крутопадающие внешние характеристики; отдельные типы выполнены с пологопадающими и жесткими характеристиками.

Упрощенная принципиальная электрическая схема сварочного выпрямителя ВСС-300-3 на номинальный сварочный ток 300 А при $ПР_{ном}=65\%$ приведена на рис. 2-8. Вентильный (выпрямительный) блок *ВБ* собран из селеновых вентилей. Силовой трансформатор с повышенным рассеянием *ТрС* выполнен с подвижными катушками вторичных обмоток. Это позволяет плавно регулировать сварочный ток в общих пределах от 35 до 330 А при двух диапазонах ступенчатого регулирования. Последнее осуществляется переключением первичных и вторичных обмоток от схемы звезда — звезда на схему треугольник — треугольник. Напряжение холостого хода выпрямителя $U_{в0}=58—65$ В, номинальное напряжение $U_{в,ном}=25$ В. Выпрямитель предназначен для однопостовой ручной дуговой сварки и имеет крутопадающую характеристику.

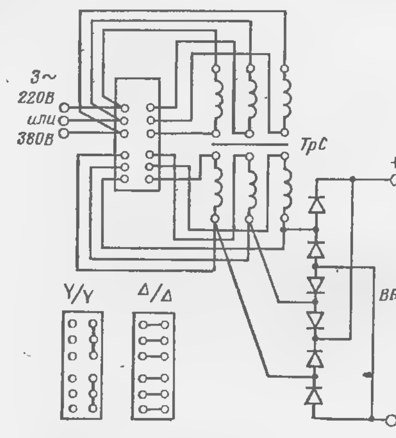


Рис. 2-8. Электрическая схема выпрямителя ВСС-300-3.

Аналогичные схемы, назначение и характеристики имеют выпрямители типа ВСС на ток 120 А, типа ВКС на токи 120 и 300 А с кремниевыми диодами, а также нового типа ВД на 300 А. Эти выпрямители оснащены переключателями диапазонов. На рис. 2-9 приведены в качестве примера внешние характеристики выпрямителя ВД-303. Рабочее напряжение $U_в$ на зажимах выпрямителя определяется в зависимости от тока $I_{св}$ соотношением $U_в=20+0,04I_{св}$.

Однопостовые сварочные выпрямители с пологопадающими и жесткими внешними характеристиками (например, типа ВС) предназначены для сварки плавящимся электродом в среде защитных газов, а выпрямители на токи 500 и 1000 А — также для автоматической сварки под флюсом. Принцип построения схемы выпрямителя типа ВС иллюстрируется рис. 2-10. Выпрямитель

состоит из силового трехфазного трансформатора *ТрС* и вентильного блока *ВБ*, собранного на селеновых вентилях. Для ограничения скорости нарастания тока при к. з. электрода включен дроссель *Др*. Регулирование выпрямленного напряжения осуществляется путем ступенчатого переключения отпаек первичной обмотки каждой фазы трансформатора *ТрС*.

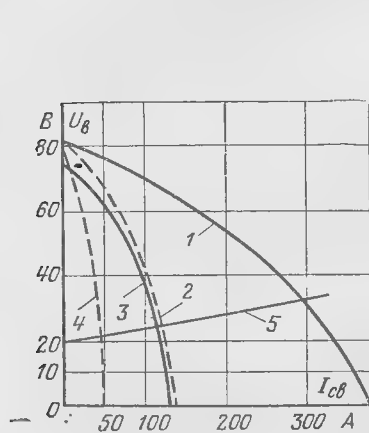


Рис. 2-9.

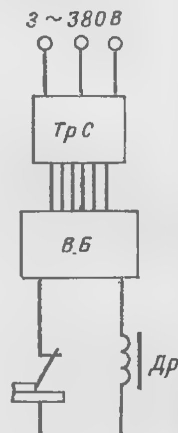


Рис. 2-10.

Рис. 2-9. Внешние характеристики выпрямителя ВД-303.

1 и *2* — при сдвинутых катушках; *3* и *4* — при раздвинутых катушках; *1* и *3* — диапазон больших токов; *2* и *4* — диапазон малых токов; *5* — рабочие напряжения в общем диапазоне 45—300 А.

Рис. 2-10. Поясняющая электрическая схема выпрямителя типа ВС.

Многопостовые сварочные выпрямители для ручной дуговой сварки типов ВКСМ-1000 на 1000 А и ВДМ-1600 на 1600 А с кремниевыми вентилями имеют жесткие внешние характеристики. Электрическая схема силовых блоков выпрямителя ВКСМ приведена на рис. 2-11. Вентильный блок *ВБ* собран по так называемой кольцевой шестифазной схеме. Трансформатор *ТрС* имеет два трехфазных комплекта вторичных обмоток. Первичные обмотки *ТрС* соединены в треугольник. Переключателем *П* можно переключать отпайки обмоток, что дает возможность повышать вторичное напряжение на 5% для получения номинального выпрямленного напряжения при пониженном напряжении сети. Выпрямители ВКСМ-1000 и ВДМ-1600 мало отличаются друг от друга. Больший ток ВДМ-1600 обусловлен параллельным

соединением трех вентилей в каждой фазе. Получение падающих характеристик и регулирование тока сварочных постов обеспечивается балластными реостатами, поставляемыми комплектно с выпрямителем.

Сварочные тиристорные выпрямители являются наиболее совершенными источниками сварочного тока.

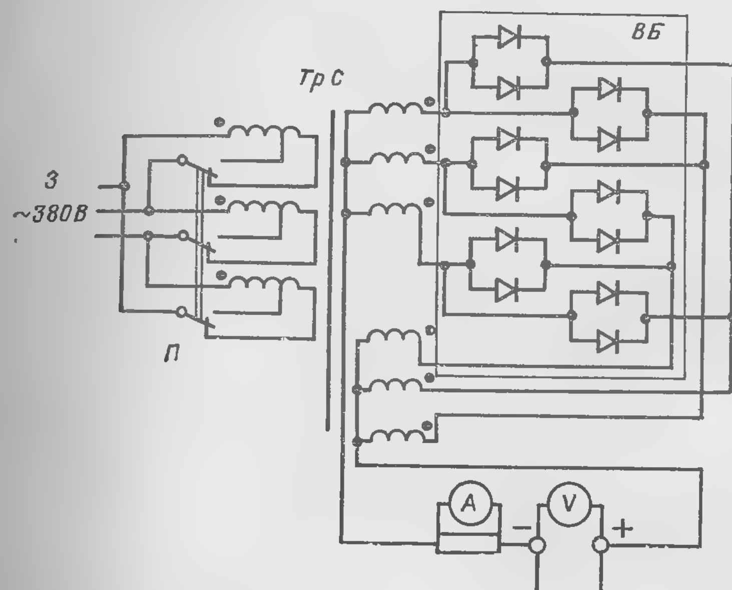


Рис. 2-11. Электрическая схема силовых блоков сварочного выпрямителя ВКСМ-1000.

Однопостовые универсальные выпрямители типов ВДУ-504, ВДУ-1001 и ВДУ-1601 обеспечивают разнообразные сварочные операции. Выпрямители обладают и крутопадающими, и жесткими характеристиками.

Общий вид сварочного выпрямителя ВДУ-504 (номинальный сварочный ток 500 А при $ПВ_{ном}=60\%$) показан на рис. 2-12. Выпрямитель помещен в кожух и смонтирован на тележке *1*. Сеть 380 В подключается к панели зажимов *10* со стороны задней решетки тележки. На этой панели находится и фильтр для защиты от помех радиоприему, создаваемых при сварке. Защита выпрямителя от к. з. осуществляется автоматическим выклю-

чателем *8*. Присоединение сварочного кабеля производится к гнездам *22* специальными разъемами. В сварочную цепь включается также дроссель *6*. Первичные обмотки трехфазного силового трансформатора *2* мож-

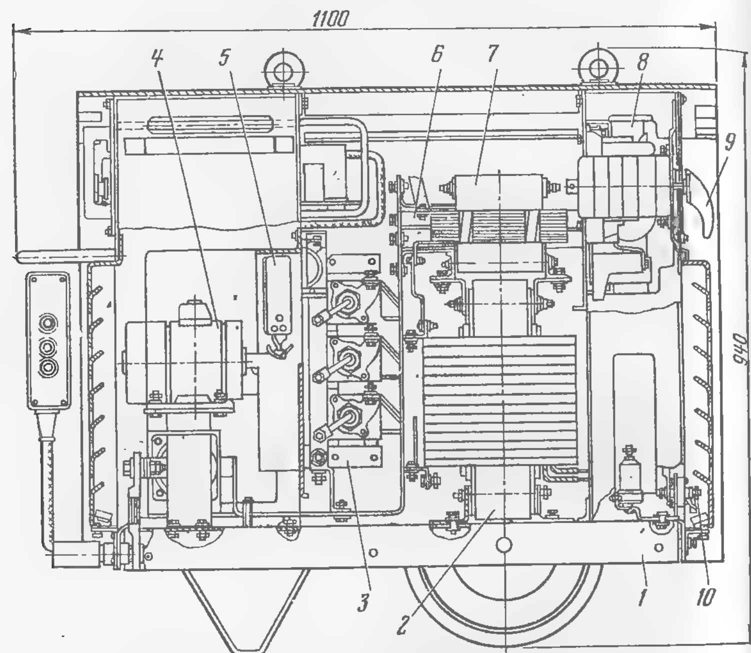
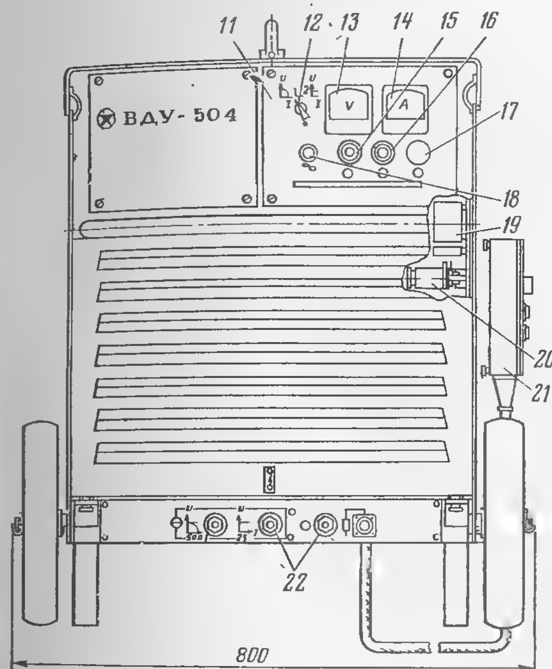


Рис. 2-12. Сварочный выпрямитель ВДУ-504.

но соединять в звезду или треугольник при помощи переключателя *9*.

Силовой вентильный блок *3* состоит из шести тиристоров, собранных по шестифазной схеме с уравнительным реактором *7*. Для охлаждения тиристоров служит вентилятор *5* с приводным асинхронным двигателем *4*. Двигатель защищен плавкими предохранителями *20*. Для оперативного включения и отключения выпрямителя служат контакторы (магнитные пускатели) *19*. На передней стороне выпрямителя расположен блок управления *11*. В нем находится аппаратура системы импульсно-фазового управления тиристорами, а на лицевой па-

нели блока установлены: пусковая кнопка *15*, кнопка останова *16*, амперметр сварочного тока *14*, вольтметр сварочного напряжения *13*, сигнальная лампа *18*, показывающая наличие напряжения на выпрямителе; пере-



ключатель внешних характеристик *12*, аварийная кнопка *17* (Стоп). Выпрямитель имеет также кнопочную станцию *21* для дистанционного включения выпрямителя.

Электрическая схема выпрямителя ВДУ-504 в упрощенном виде представлена на рис. 2-13, *а*. Напряжение на схему подается после включения автоматического выключателя *ВА*. После нажатия на кнопку *КнП* (Пуск) срабатывает контактор *КЛ1* двигателя *ДВ* вентилятора. При нормальной работе вентилятора от потока воздуха включится ветровое реле *РВ*, что приведет к срабатыванию контактора *КЛ2* и включению сварочного трансформатора *ТрС*. Одновременно с включением двигателя *ДВ* подается напряжение на трансформаторы управления *ТрУ1* и *ТрУ2*, а следовательно, на блок импульсно-фазового управления *БИФУ* тиристорами *Т1—Т6*, блок питания *БП*, блок управления *БУ* и в цепь питания датчика *ДТ* сварочного тока. Тем самым будет подано шестифазное напряжение

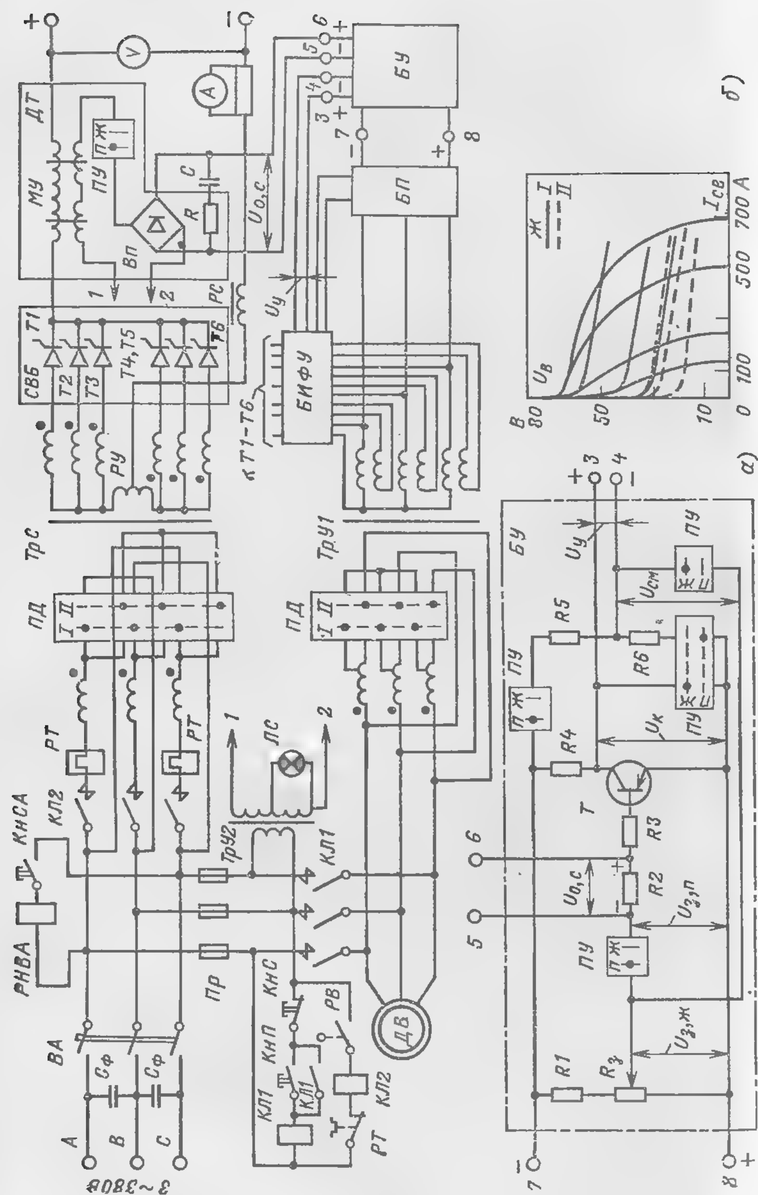


Рис. 2-13. Электрическая схема выпрямителя ВДУ-504 (*а*) и его внешние характеристики (*б*).

на выпрямительную схему, в силовую часть которой входят тиристоры силового вентильного блока *СВБ*, уравнительный реактор *РУ* и сглаживающий реактор *РС* в цепи сварочного тока. Выпрямитель готов к работе.

Схема предусматривает возможность сварочных работ с падающими или жесткими характеристиками. Выбор вида характеристик производится переключателем *ПУ* на два положения: *П* (падающие) и *Ж* (жесткие). Для жестких характеристик имеется два диапазона: *I* — при $U_в=50\div24$ В (для тока $I_{св,ном}=500$ А); *II* — при $U_в=25\div\div15$ В (также при $I_{св,ном}=500$ А). Для диапазона *I* переключатель диапазоноз *ПД* устанавливается в положение *I*, что отвечает соединению первичных обмоток *ТрС* в треугольник. Положение *II* переключателя соответствует диапазону *II*, при котором первичные обмотки *ТрС* соединяются в звезду. Одновременно переключаются в звезду и первичные обмотки трансформатора *ТрУ1* для сохранения фазировки системы управления тиристорами. Для падающих характеристик используется только диапазон *I*.

При работе с падающими характеристиками (*ПУ* находится в положении *II*) нужный вид характеристик обеспечивается наличием отрицательной обратной связи по сварочному току $I_{св}$. Датчик тока *ДТ* представляет собой магнитный усилитель *МУ* с рабочими обмотками, питающимися от трансформатора *ТрУ2*, и выходом на постоянном токе (через выпрямитель *Вп* и фильтр *R*, *C*). Обмотка подмагничивания усилителя включена в цепь сварочного тока.

Напряжение обратной связи $U_{о,с}$, примерно пропорциональное току $I_{св}$, подается в блок управления *БУ*. Здесь разность напряжения задания $U_{з,п}$ (для падающих характеристик), снимаемого с потенциометра $R_з$, и напряжения $U_{о,с}$ подается на базу транзистора *Т*. Напряжение управления $U_у$ на входе блока *БИФУ* (величина $U_у$ определяет угол отпирания тиристоров, а с ним и значение выпрямленного напряжения $U_в$) равно разности напряжения смещения $U_{см}$, снимаемого с резистора *R6*, и напряжения $U_к$ перехода эмиттер—коллектор транзистора *Т*, т. е. $U_у=U_{см}-U_к$. В свою очередь, напряжение $U_к$ есть усиленное транзистором напряжение базы $U_б=U_{з,п}-U_{о,с}$.

При малых токах $I_{св}$ напряжение $U_{о,с}$ также мало, $U_б\approx U_{з,п}$, и транзистор практически полностью открыт ($U_к\approx0$). Поэтому $U_у\approx\approx U_{см}$, что отвечает наибольшему выпрямленному напряжению $U_в$. По мере увеличения $I_{св}$ напряжение $U_б$ уменьшается, транзистор постепенно закрывается, значение $U_к$ растет, что и приводит к уменьшению выпрямленного напряжения $U_в$ тем сильнее, чем больше ток $I_{св}$. Изменяя $U_{з,п}$, можно получить семейство падающих характеристик $U_в=f(I_{св})$, изображенное на рис. 2-13, *б*.

Для получения жестких характеристик $U_в=f(I_{св})$ переключатель *ПУ* ставится в положение *Ж*. Датчик тока *ДТ* и транзистор *Т* отключаются. На вход *БИФУ* теперь поступает только напряжение задания для жестких характеристик $U_{з,ж}$ с потенциометра $R_з$, т. е. $U_у=U_{з,ж}$, значение которого определяет положение жесткой характеристики. Семейства таких характеристик для обоих диапазонов *I* и *II* показаны на рис. 2-13, *б*.

Защита выпрямителя при к. з. осуществляется электромагнитным расцепителем автоматического выключателя *ВА*. Двигатель вентилятора и схема управления защищаются плавкими предохранителями *Пр*. Для защиты выпрямителя от перегрузок применены тепловые реле *РТ*. Защита тиристоров от коммутационных перенапря-

жений обеспечивается цепочками *RC* (на схеме не показаны). На входе схемы включены конденсаторы фильтра защиты от помех радиоприему $C_ф$. При нажатии на аварийную кнопку *КнСА* (Стоп) срабатывает независимый расцепитель *РНВА*, отличающий выключатель *ВА*.

Сварочные выпрямители ВДУ-1001 и ВДУ-1601 на токи 1000 и 1600 А предназначены для сварки металлов в среде защитных газов и под флюсом на автоматах и полуавтоматах. Силовые блоки

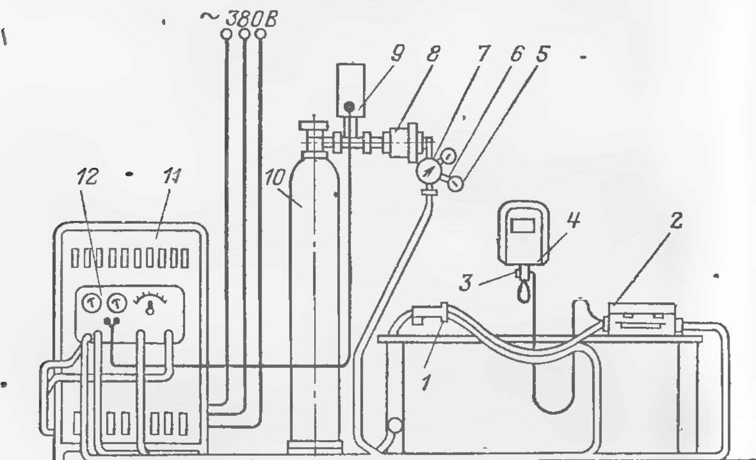


Рис. 2-14. Схема поста А-547Р для полуавтоматической сварки в среде углекислого газа.

этих выпрямителей выполнены по кольцевой схеме аналогично схеме на рис. 2-11. Обмотки силового трансформатора не переключаются. Схемы управления ВДУ-1001 и ВДУ-1601 в отличие от ВДУ-504 предусматривают при работе на жестких характеристиках стабилизацию выпрямленного напряжения с помощью отрицательной обратной связи по напряжению.

2-3. УСТАНОВКИ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Рассмотрим конструктивное оформление и электрооборудование некоторых типичных установок дуговой сварки.

Ручная дуговая сварка. Электрооборудование сварочного поста состоит из источника тока (сварочного трансформатора, генератора или выпрямителя с падающими характеристиками), осциллятора (при необходимости), сварочных проводов и электрододержателя. Гибкие сварочные провода марок ПРГ или ПРГН, одинарные или двойные, длиной не более 30 м служат для подвода тока от источника к свариваемой детали и электрододержателю. Для присоединения провода к детали применяют винтовые зажимы типа струбцин, в которые конец провода впаивают твердым припоем. Сварочный ток $I_{св}$ выбирают в зависимости от марки и диаметра электрода $d_э$ с учетом положения сварного шва в пространстве, вида соединения, толщины и химического состава свариваемого металла. Ориентировочно $I_{св}=50d_э$.

Полуавтоматическая сварка в углекислом газе. Схема поста с полуавтоматом А-547Р для сварки тонкого металла (толщиной до 3 мм) электродной проволокой с $d_э=0,8\div1,0$ мм постоянным током обратной полярности приведена на рис. 2-14. На рабочем месте сварщика располагается газоэлектрическая горелка *1* с гибким шлангом, подающий механизм *2*, щиток *4* сварщика с пусковой кнопкой *3*. Газ в горелку *1* поступает из баллона *10* с жидкой углекислотой через подогреватель газа *9*, осушитель газа *8*, редуктор *7* и переходный штуцер *6* с манометром *5*. На корпусе источника сварочного тока *11* размещен пульт управления *12*. В качестве источника тока с жесткой характеристикой используются генераторы типов ПСТ, ПС или ПСУ, выпрямители типов ВДУ и ВС (на рис. 2-14 показан выпрямитель типа ВС).

Механизм подачи электродной проволоки конструктивно оформлен в виде чемодана, в котором находятся основные узлы механизма: двигатель постоянного тока, редуктор, катушка для проволоки, направляющие ролики для подачи проволоки. Скорость подачи регулируется двумя способами: плавно изменением частоты вращения двигателя и ступенчато сменой подающих роликов. Гибкий шланг присоединен к механизму подачи через специальный токосъемник и имеет внутри направляющий проволоку канал со стальной спиралью. На другом конце шланга укреплена горелка.

Принципиальная электрическая схема полуавтомата А-547Р показана на рис. 2-15. Двигатель *Д* смешанного возбуждения (обмотки *ОВ1* и *ОВ2*) и последовательная обмотка электромагнитной муфты сцепления *ЭМ* подключаются к источнику питания *ИСТ* контактором *КС*. Двигатель работает с постоянно введенным в цепь якоря резистором *R*. Регулирование частоты вра-

щения двигателя производится реостатом $R_{рег}$ в цепи параллельной обмотки возбуждения *ОВ1*. Напряжение на схему, в том числе и на подогреватель газа *ПГ*, подается выключателем *В*. Контроль за режимом сварки осуществляется по вольтметру *V* и амперметру *А*, установленным вместе с реостатом $R_{рег}$ и выключателем *В* на пульте управления.

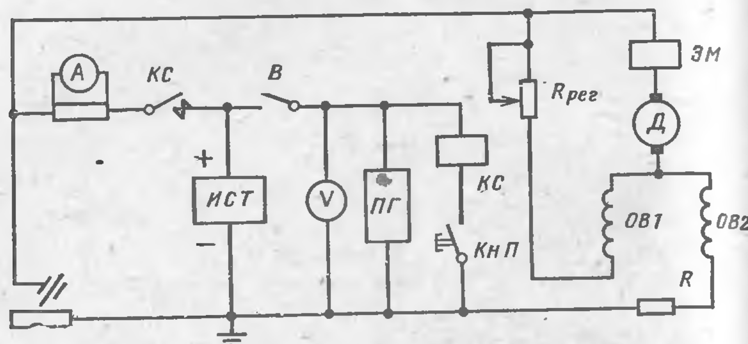


Рис. 2-15. Электрическая схема полуавтомата А-547Р.

После замыкания электродной проволоки на изделие и нажатия на кнопку *КнП* включается контактор *КС*. Сварочная цепь замыкается, включаются электродвигатель *Д* и электромагнитная муфта *ЭМ*, сцепляющая валы двигателя и редуктора. Начинается подача электродной проволоки с постоянной скоростью в зону дуги и устойчивый процесс сварки. При отпускании кнопки *КнП* контакт *КС* размыкается, протекание сварочного тока прекращается, отключаются муфта *ЭМ* и двигатель *Д*.

Применяют также полуавтоматы других типов, в том числе ранцевый полуавтомат ПДГ-302 из новой унифицированной серии ПДГ, у которого подающий механизм расположен в ранце сварщика. Масса ранца около 5 кг.

Полуавтоматы серии ПДГ изготовляются с подающим механизмом, регулируемый электропривод постоянного тока которого выполнен по системе тиристорный преобразователь — двигатель. Подающий механизм может быть установлен на тележке или на турели с поворотом на 360°, что позволяет вести сварку на расстоянии до 3 м от места расположения автомата.

Автоматическая сварка под флюсом. К основному оборудованию установок автоматической сварки под слоем флюса относятся: источники питания, шкаф управления, гибкие провода, сварочные аппараты — подвесные сварочные головки (неподвижные и самоходные) и сварочные тракторы.

Наибольшее распространение получили универсальные сварочные тракторы (рис. 2-16). Сварочный трактор представляет собой самоходную каретку *1* с механизмом передвижения *2*, на которой

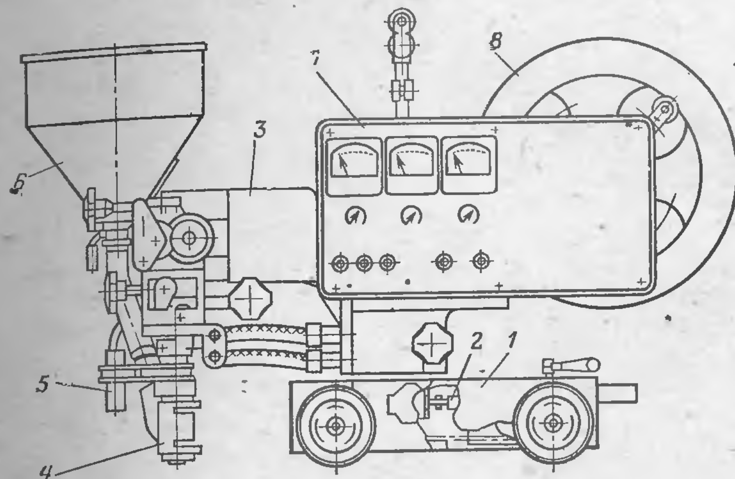


Рис. 2-16. Сварочный трактор.

смонтированы сварочная головка *3* с механизмом подачи электродной проволоки, пульт управления *7*, кассета *8* для электродной проволоки, бункер *6* для флюса и светоуказатель *5*. Вдоль шва трактор движется непосредственно по свариваемым деталям или по специальным легким направляющим. Для контроля за движением трактора служит светоуказатель *5*. Флюс высыпается в зону сварки через воронку *4*, внутри которой расположен направляющий мундштук для электродной проволоки. Показанный на рис. 2-16 сварочный трактор относится к новой унифицированной серии автоматов АДФ для сварки постоянным и переменным током под флюсом. В пульте управления *7* размещено все электрооборудование для приводов подачи проволоки и перемещения каретки. Приводы выполнены с двигателями постоянного тока с тиристорным и транзисторным управлением.

Сварочные тракторы других типов выполнены примерно по той же конструктивной схеме, но все оборудование для управления приводами размещается в отдельном шкафу управления. Имеются также сварочные тракторы с приводами от двух асинхронных двигателей и с одним двигателем на оба привода.

Автоматические сварочные головки и сварочные тракторы должны обеспечивать устойчивый режим сварки, для чего необходимо

равенство между скоростью подачи электродной проволоки и скоростью ее плавления. Различают автоматы с постоянной скоростью подачи проволоки (такой вариант получил наибольшее распространение) и с автоматическим регулированием скорости подачи проволоки в зависимости от длины дуги или напряжения на дуге, поскольку для сварки под флюсом эти величины пропорциональны друг другу [см. формулу (2-1)].

При постоянной скорости подачи используется свойство саморегулирования электрической дуги. Например, с увеличением длины дуги сварочный ток уменьшается, а следовательно, уменьшается и скорость плавления проволоки, что приводит к восстановлению прежней длины дуги. Поэтому при постоянной скорости подачи целесообразно применять источники питания с пологопадающей или даже с жесткой внешней характеристикой; это повышает интенсивность саморегулирования дуги.

У варианта автоматического регулирования скорости подачи проволоки по напряжению на дуге процесс восстановления режима протекает иначе. Здесь необходим источник с крутопадающими внешними характеристиками. При увеличении, например, напряжения на дуге система управления приводом подачи обеспечивает такое увеличение скорости подачи, при которой восстанавливается прежнее напряжение дуги. С этой целью привод подачи нужно выполнять с питанием двигателя от управляемого преобразователя (генератора, тиристорного преобразователя и др.) и обратной отрицательной связью по напряжению дуги. Такая система получается, конечно, намного сложнее системы с постоянной скоростью подачи проволоки, в которой можно использовать асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором и с механическим ступенчатым регулированием скорости подачи для установки разных значений этой скорости.

2-4. УСТАНОВКИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Принципы контактной сварки описаны в § 2-1. Как пример установки контактной сварки, рассмотрим машину типа МШ-3201 для роликовой (шовной) сварки. На рис. 2-17 показан ее общий вид. Машина предназначена для сварки изделий из стали как поперечными, так и продольными швами (при небольшой переналадке). Номинальная мощность машины 354 кВ·А, питание от сети 380 В, номинальный сварочный ток 32 кА при вторичном напряжении 8,56 В и $ПВ_{ном}=50\%$.

Машина состоит из следующих узлов: сварной станины *3*, направляющего устройства *9*, пневматического привода сжатия *10*, верхнего *8* и нижнего *6* роликовых электродных устройств; нижнего кронштейна *4* с токоподводом *5*, верхнего токоподвода с гибкими шинами *7*, привода вращения верхнего ролика с асинхронным двигателем *18*, электромагнитной муфтой скольжения *17*, втулочно-пальцевой муфтой *13*, тахогенератором *14*, редуктором *12* и карданным валом *11*, блока управления *2* приводом вращения и переключателя скорости *15*, панели управления *16* сварочным циклом, сварочного трансформатора *19*, игнитронного прерывателя *1* сварочного тока. Ролики машины, сварочный трансформатор, токоподводы и игнитроны охлаждаются проточной водой.

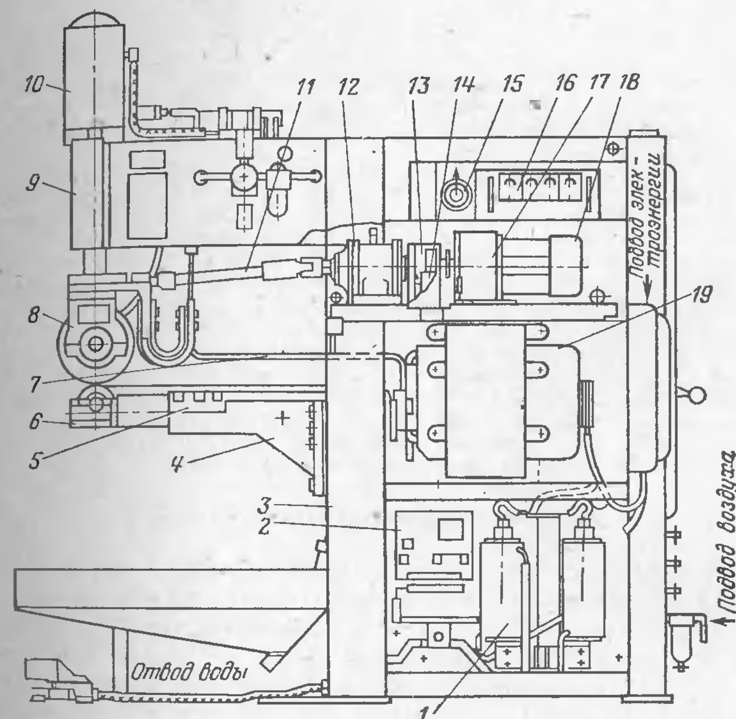


Рис. 2-17. Машина для шовной сварки МШ-3201.

Сварочный трансформатор — однофазный, со ступенчатым регулированием напряжения на вторичной стороне путем переключения отпаек первичной обмотки. Угловую скорость роликов регулируют, соответственно изменяя угловую скорость ротора электромагнитной муфты скольжения. Это обеспечивается автоматическим регулированием тока возбуждения муфты в функции угловой скорости ее ротора, задаваемой тахогенератором.

Большинство машин контактной сварки переменного тока — однофазные. Их сварочные трансформаторы имеют магнитопроводы стержневого или броневого типа, набранные из пластин или витые из холоднокатаной ленты. Первичная обмотка трансформатора — дисковая из медного провода, изолированного стекловолокном. Вторичная обмотка представляет собой один виток или

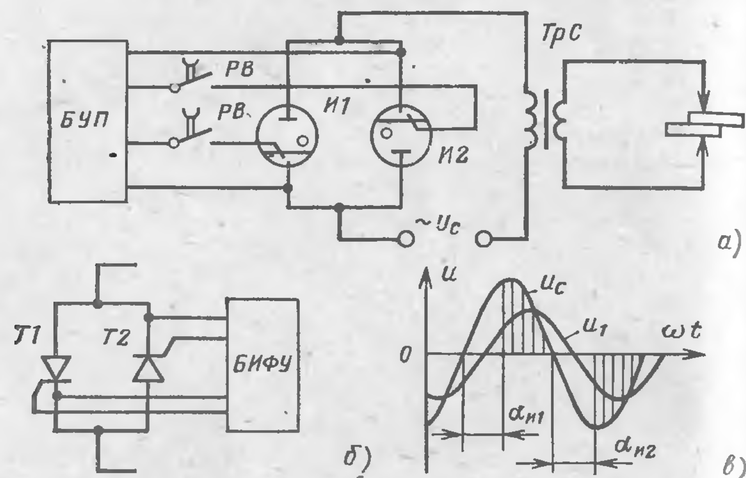


Рис. 2-18. Принципиальные схемы силовых цепей машин контактной сварки.

несколько витков, соединенных параллельно. Конструктивно вторичная обмотка может быть выполнена по-разному. Ее витки изготовляют литыми из алюминиевого сплава с внутренней стальной трубкой для охлаждающей воды, сварными из медных полос или цельноштампованными из медных листов с припаянными по периметру витков медными трубками для охлаждения воды. Параллельные витки соединены между собой при помощи медных контактных колодок. Обмотки трансформатора после сборки заливают эпоксидным компаундом.

Для получения высококачественной точечной или шовной сварки при высокой производительности необходимо выдерживать заданное значение сварочного тока, строго определенное время его протекания и время паузы для каждого цикла сварки. Это достигается при

помощи регуляторов цикла сварки и контакторов, включающих и отключающих сварочный ток. Коммутация тока производится в цепи первичной обмотки сварочного трансформатора. В современных машинах применяются, как правило, не электромагнитные, а статические контакторы: игнитронные и тиристорные.

На рис. 2-18, *а* приведена упрощенная схема силовой цепи машины контактной сварки с однофазным трансформатором *ТрС* и игнитронным контактором, который состоит из двух встречно - параллельно включенных игнитронов *И1* и *И2*. Для управления поджиганием игнитронов служит блок

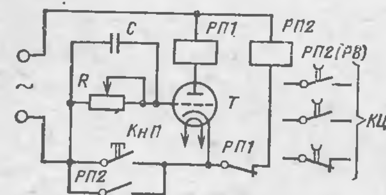


Рис. 2-19. Принципиальная электрическая схема электронного регулятора времени сварки.

БУП. В общем случае игнитронный контактор позволяет не только включать и отключать цепь тока, но и регулировать сварочный ток путем изменения фазы подачи поджигающих импульсов игнитронов *И1* и *И2* относительно начала полуволн их анодных напряжений, т. е. угла $\alpha=\alpha_{И1}=\alpha_{И2}$ (рис. 2-18, *в*). Чем больше угол α, тем меньшее напряжение u_1 (первая гармоника) прикладывается к первичной обмотке трансформатора *ТрС*, а значит, тем меньше будут напряжение и ток вторичной обмотки. Поджигание игнитронов производится при помощи схем *БУП* с тиристорами [11]. В современных машинах все больше применение находят тиристорные контакторы (рис. 2-18, *б*). Они надежнее игнитронных контакторов и удобнее в эксплуатации.

Схема простейшего регулятора одной операции «Импульс» сварочного цикла, т. е. времени протекания сварочного тока, показана на рис. 2-19. Регулятор представляет собой электронное реле времени на триоде *Т*. При нажатии пусковой кнопки *КнП* включается реле *РП2*, своими контактами блокирует кнопку и воздействует на командные цепи *КЦ*, в том числе и на цепи включения поджигания игнитронов (см. рис. 2-18, *а*). Происходит включение сварочного тока. Еще до нажатия на кнопку *КнП* конденсатор *С* заряжался сеточным током триода *Т* по цепи через контакт *РП1* и катушку

РП2 в те полупериоды, когда зажим питания положителен по отношению к катоду триода. С момента замыкания контакта кнопки *КнП* начнется разряд конденсатора *C* на реостат *R*. При этом триод *T* будет заперт, так как его сетка отрицательна по отношению к катоду. По мере разряда конденсатора отрицательный потенциал сетки уменьшается и через некоторое время станет равным потенциалу отпирания триода. Появится анодный ток триода и сработает реле *РП1*, которое отключит реле *РП2*. Это приведет к прекращению протекания сварочного тока и снятию воздействия на другие командные цепи. Схема подготовляется к выполнению повторной операции. Регулирование выдержки времени реле осуществляется изменением темпа спадания тока разряда конденсатора *C* при помощи реостата *R*. В таком виде схема используется для машин точечной сварки. Очевидно, что при помощи двух реле времени можно составить схему регулятора двух операций сварочного цикла: «Импульс» и «Пауза» для машин шовной сварки.

В современных машинах точечной и шовной сварки применяются регуляторы сварочного цикла, построенные на бесконтактных логических элементах. Схема такого регулятора работает на принципе отсчета заданного числа тактовых импульсов, вырабатываемых в начале каждой полусинусоиды (положительной и отрицательной) однофазного напряжения питания машины, т. е. имеющих частоту 100 Гц. Следовательно, интервал между импульсами равен 0,01 с. В момент, когда число отсчитанных импульсов будет равно заданному их числу (т. е. по истечении заданного времени операции «Импульс» или соответственно «Пауза»), счетная схема выдает команды на отключение или включение статического контактора [11].

Глава третья

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ МОСТОВЫХ КРАНОВ

3-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОСТОВЫХ КРАНАХ

Кранами называются грузоподъемные устройства, служащие для вертикального и горизонтального перемещения грузов на небольшие расстояния. По особенностям конструкции, связанным с назначением и условиями работы, краны разделяются на мостовые, портальные, козловые, башенные и др. В цехах предприятий электромашиностроения наибольшее распространение получили мостовые краны, с помощью которых производятся подъем и опускание тяжелых заготовок, деталей и узлов машин, а также их перемещение вдоль и поперек цеха. Вид мостового крана в основном определяется спецификой цеха и его технологией, однако многие узлы кранового оборудования, например механизмы подъема и передвижения, выполняются однотипными для различных разновидностей кранов.

На рис. 3-1 показан общий вид нормального (крюкового) мостового крана. Несущая сварная конструкция крана представляет собой мост с двумя главными балками *25* коробчатого сечения (или с решетчатыми фермами), перекинутыми через пролет цеха, и концевыми балками *2* и *13*, на которых установлены ходовые колеса *15*. Колеса перемещаются по рельсам *16* подкранового пути, закрепленным на балках опорных конструкций *1* в верхней части цеха. Привод ходовых колес осуществляется от электродвигателя *19* через редуктор *14* и трансмиссионный вал *18*.

Вдоль моста проложены рельсы *20*, по которым на колесах *12*, приводимых во вращение электродвигателем *9* через редуктор *10*, перемещается тележка *5* с подъемной лебедкой. На барабан *6* лебедки наматываются подъемные канаты *24* с подвешенным к ним на блоках *22* крюком *23* для захвата грузов. Барабан приводится во вращение электродвигателем *7* через редуктор *8*.

Управление работой механизмов крана производится из кабины *27* оператора-крановщика, в которой установлены контроллеры или командоконтроллеры *26* — органы ручного управления электроприводами механизмов. Электроаппаратура управления приводами размещается в шкафах *4*, установленных на мосту крана. Здесь же располагаются ящики резисторов *21*. Для проведения операций обслуживания механизмов и электрооборудования предусмотрен выход на мост из кабины через люк *3*.

Электроэнергия к крану подводится при помощи скользящих токосъемников от главных троллеев *17*, уложенных вдоль подкранового пути. Для подвода питания к электрооборудованию, размещенному на тележке *5*,